

# 地中構造推定のための多層モデルの後方散乱応答計算の検討

C-15 A Study on the Backscattering Response of the Multi-layer Model for the Estimation of Underground Structures

佐藤 尚樹<sup>†1</sup> 平野 駿介<sup>†2</sup> 柴田 随道<sup>†1†2</sup>

Naoki SATO<sup>†1</sup> Shunsuke HIRANO<sup>†2</sup> Tsugumichi SHIBATA<sup>†1†2</sup>

<sup>†1</sup> 東京都市大学 大学院総合理工学研究科 <sup>†2</sup> 東京都市大学 知識工学部

<sup>†1</sup> Graduate School of Integrative Science and Engineering, Tokyo City University

<sup>†2</sup> Faculty of Knowledge Engineering, Tokyo City University

## 1. はじめに

近年、日本では道路の崩落事故が多発している。事故を未然に防ぐには道路下を定期的にモニタリングして危険性の判別を自動化する必要があり、そのためのコンピュータによる自動測定と解析技術が求められている。

本研究では地上から地中に向かって電磁波を照射したときの後方散乱応答を測定して地中構造を推定する技術を取り上げ、推定技術の要素として1次元の多層構造モデルを用いることとし、そのモデルとモデルが与える後方散乱応答の精度に関する検討を行なった。

## 2. 地中構造のモデル化<sup>[1]</sup>

道路下の地中構造を推定するために、地中構造を近似的に表現する多層構造モデルを図1(a)に示すように考える。各層の厚みを  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_L$  とし、ここでは初期検討として各層の媒質が比誘電率  $\epsilon_r$  のみ変化するものとし、比透磁率  $\mu_r = 1$ 、損失項は零として屈折率  $n = \sqrt{\epsilon_r}$  で各媒質を代表させることとする。また、実際の応答を測定する代わりに FDTD 法 (有限差分時間領域法)<sup>[2]</sup> によるシミュレーションを利用した。

本稿では、図1(b)のようなモデルについて後方散乱応答を計算する。各層での多重反射の考慮度合と精度の関係を検証するために図2のような1回、3回、さらに5回の多重反射を含めた後方散乱応答を計算する。式(1)は1回の反射のみの重ね合わせによる応答の計算式である。

$$H(\omega, d_1, \dots, d_L, n_1, \dots, n_L) = r_{0 \rightarrow 1} + \sum_{l=1}^L \left\{ r_{l \rightarrow l+1} \prod_{i=1}^l T_i \right\} \quad (1)$$

FDTD 法で計算した正確な応答とこの近似モデルの応答の誤差を以下の式(1)のように定義する。

$$\Omega = \sum_{\omega=\omega_L}^{\omega_H} \frac{|H(\omega, d_1, \dots, d_L, n_1, \dots, n_L) - \bar{H}|}{|\bar{H}|} \quad (2)$$

ここで  $\omega$  に関しては誤差関数のロバスト性を高める目的で複数の周波数の誤差を加算した形を採用した。

## 3. 計算例と計算結果

2.に記載したモデルの後方散乱応答を FDTD 法の結果と比較するために、図1(b)に示した簡単な構造を例題として計算を行った。表1に周波数 10MHz から 100MHz まで 2MHz 毎のデータを使った誤差関数で各層の屈折率を推定した結果を示す。5回までの多重反射を考慮することによって推定精度が高まることが判った。

## 4. まとめ

研究では、構造推定における推定モデルの精度に関する考察を行った。多重反射を経て戻る波まで考慮したモデルを比較し、モデルの精度を高めることで構造推定精度が

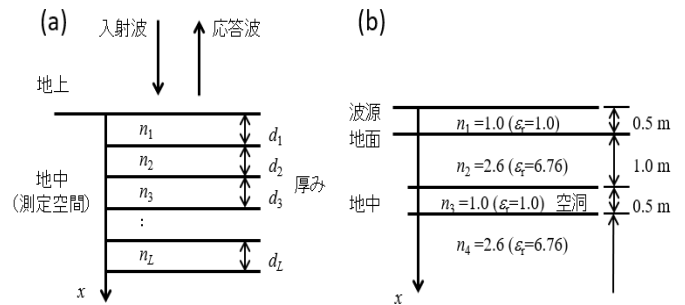


図1 (a)地中構造の多層近似モデル模式図 (b)モデルの評価に用いた地中構造

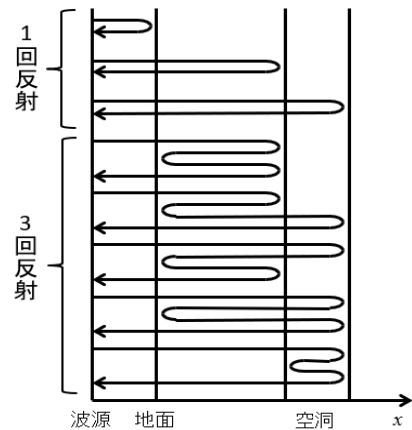


図2 1回及び3回の多重反射模式図

表1 モデル精度が屈折率推定に与える影響

	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$
設定値	1.0	2.6	1.0	2.6
1回多重反射	1.1	2.6	1.1	3.1
3回多重反射	1.0	2.6	1.0	2.7
5回多重反射	1.0	2.6	1.0	2.6

大きく改善される見通しを得た。今後は、誤差汎関数の最適化のための遺伝的アルゴリズムの組み込みを行なう予定である。

## 文献

- [1] 池内, 園田, 工藤, “層状媒質の時間領域逆散乱問題の近似解法,” 電学論 A, 123 巻, 3 号, pp. 213-219, 2003.
- [2] K. S. Yee, “Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell’s Equations in Isotropic Media,” IEEE Trans. Ant. Propagat., Vol. AP-14, No.3, pp. 302-307, 1966.